



Klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter

Skrift nr.30

Gregersen, Ida Bülow; Madsen, Henrik; Linde, Jens Jørgen; Arnbjerg-Nielsen, Karsten

Publication date:
2014

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Gregersen, I. B., Madsen, H., Linde, J. J., & Arnbjerg-Nielsen, K. (2014). *Klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter: Skrift nr.30*. IDA Spildevandskomiteen. http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/svk_skrift30_0.pdf

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Skrift nr.30

Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter

2014
IDA Spildevandskomiteen

Opdaterede klimafaktorer og dimensionsgivende regnintensiteter
Spildevandskomiteen, Skrift nr. 30

© IDA Spildevandskomiteen 2014

Forfattere: Ida Bülow Gregersen, DTU, Henrik Madsen, DHI, Jens Jørgen Linde, Krüger, og
Karsten Arnbjerg-Nielsen, DTU

Layout af figurer: Lisbet Brusendorff

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	3
Rekommandation.....	4
Forord 6	
1 Indledning.....	7
1.1 Bagrund	7
1.2 Formål.....	7
1.3 Tilgængelige data for Danmark.....	8
2 Dimensionsgivende intensiteter for nutidens klima – opdateret regional model for ekstremregn	10
3 Historisk variation af ekstremregn	14
4 Fremtidens regn – opdaterede klimafaktorer.....	17
5 Sikkerheds- og korrektionsfaktorer	22
6 Praktisk betydning af de nye anbefalinger.....	24
7 Sammenfatning	26
8 Referencer.....	28
Bilag A Organisatorisk ramme.....	31

Rekommandation

Parallelt med at de dimensionsgivende regnintensiteter har været stigende gennem de seneste årtier, er der sket en øget forskningsindsats om dels ekstremregns variation over tid og sted og dels klimaændringernes potentielle effekt på ekstremregnen samt de dertil knyttede usikkerheder.

På basis af observeret nedbør helt tilbage til 1874 har vi fået en god viden om den naturlige variation af de dimensionsgivende intensiteter. Selv om denne viden stadig er svær at anvende fremadrettet, kan den bruges til at sætte den seneste stigning af de dimensionsgivende intensiteter ind i et større perspektiv.

Endvidere er den regionale model fra Skrift 28 forbedret, både ud fra flere års målinger og ved inkludering af nye stationer fra Spildevandskomiteens regnmålersystem samt ud fra et nyligt udgivet landsdækkende dataset fra Danmarks Meteorologiske Institut. Dette har samlet set givet en langt bedre beskrivelse af den regionale variation over Danmark. Sammen med analysen af de historiske data giver det mulighed for at opstille en model, der ud fra den bedste viden giver et retvisende billede af, hvad der er et robust bud på nutidens dimensionsgivende ekstremregn. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at de anbefalede dimensionsgivende intensiteter til ”nutidens ekstremregn” i mange dele af landet er lavere end de observerede intensiteter de seneste 5-10 år. Det skyldes, at disse observationer vurderes at være en del af en naturlige variation i ekstremregn over tid, og at en dimensionering med lang tidshorisont ikke skal baseres på en – formentlig kortvarig – periode med forhøjet frekvens i antal og størrelse af ekstremregn.

Antallet af tilgængelige klimasimuleringer er steget markant siden Skrift 29 blev publiceret i 2008. Endvidere er metoderne til analyse af disse enten forbedret eller yderligere etableret i den videnskabelige litteratur. Gennem benyttelse af disse i kombination med det store antal klimasimuleringer har vi opnået en langt bedre forståelse af usikkerheden på klimafaktoren. Overordnet set bekræfter de nye analyser anbefalingerne i Skrift 29, men ud over en standard klimafaktor, der giver det bedste bud på effekten af klimaændringerne, er der nu blevet fastlagt en høj klimafaktor som et bedste bud på middelværdien plus én gange standardafvigelsen af klimafaktoren.

På det foreliggende grundlag rekommanderes følgende:

- De principper og metoder som er beskrevet i skrifterne 26 (Regional variation af ekstremregn i Danmark), 27 (Funktionspraksis for afløbssystemer under regn), 28 (Regional variation af ekstremregn i Danmark - ny bearbejdning (1979-2005)) og 29 (Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer) er fortsat gældende bortset fra nedenstående ændringer og præciseringer.
- Den nye regionale model for ekstremregn benyttes til dimensionering og analyse af afløbssystemer under regn og erstatter modellen fra Skrift 28. Der er udviklet et regneark til at beregne intensiteterne ved angivelse af geografiske koordinater for det aktuelle område.
- Ved anvendelse af historiske regnserier fra SVK regnmålersystemet bør disse korrigeres ift. den regionale model med en korrektionsfaktor. Korrektionsfaktoren beregnes på baggrund af den konkrete regnserie og observationsperiode og med særlig vægt på de gentagelsesperioder og varigheder, der er relevante for dimensioneringen. Der er udviklet et værktøj til at beregne denne korrektionsfaktor.
- Ligesom i Skrift 29 anbefales det at fastsætte klimafaktoren i forhold til den tilgængelige information og formålet med det konkrete projekt, herunder hvor lang en tidshorisont, der planlægges efter. Klimafaktoren kan med rimelighed skønnes at afhænge lineært af planlægningsperioden.
- Standard klimafaktorer på 1,2, 1,3 og 1,4 for gentagelsesperioder på hhv. 2, 10 og 100 år vurderes på det foreliggende grundlag at være et rimeligt skøn i forbindelse med dimensionering med en planlægningshorisont på 100 år. Rekommandationen af standard klimafaktorer er dermed uændret i forhold de klimafaktorer, der blev anbefalet i Skrift 29.
- Høje klimafaktorer på 1,45, 1,70 og 2,0 for gentagelsesperioder på hhv. 2, 10 og 100 år vurderes på det foreliggende grundlag at være et rimeligt øvre skøn for en planlægningshorisont på 100 år. Dette skøn kan f.eks. bruges til vurderinger i forbindelse med beredskabsplanlægning og worst-case simuleringer, samt til at teste robustheden af forskellige projektforslag. Disse klimafaktorer er nye i forhold til Skrift 29.

Forord

Dette skrift er en opfølgning på Spildevandskomiteens Skrift 26 fra 1999, Skrift 27 fra 2005, Skrift 28 fra 2006 og Skrift 29 fra 2008. Der indføres ikke grundlæggende nye principper, men beskrivelsen af anvendelsen af regndata fra Skrift 27 præciseres, og de konkrete dimensionsgivende værdier fra Skrift 28 og 29 er opdateret ved brug af den nyeste viden på området.

Beregningsarbejdet er udført af DTU Miljø og DHI, med støtte fra Vandsektorens Teknologiudviklingsfond. Hovedresultater er benyttet i to case studier udført af Aarhus Vand, Greve-Solrød Forsyning og Krüger. Endvidere har resultater fra to Ph.D.-studier på DTU Miljø spillet en afgørende rolle: 'Statistical modelling of climatic extremes in the hydrological cycle' af Ida Bülow Gregersen og 'Uncertainty analysis of extreme precipitation under climate change conditions' af Maria Sunyer. Førstnævnte er en del af "CRES - Centre for Regional Change in the Earth System" projektet (<http://cres-centre.net/>), sidstnævnte er en del af 'RiskChange - Risk Based Design in a Changing Climate' projektet (<http://riskchange.dhigroup.com>), der begge er støttet af Det Strategiske Forskningsråd.

De analyserede data er stillet til rådighed af Spildevandskomiteen, Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), det europæiske ENSEMBLES projekt, det danske Centre for Regional Change in the Earth System samt det danske RiskChange projekt.

Principperne for nærværende skrift har været forelagt og diskuteret i Spildevandskomiteens udvalg vedr. regnafledning fra byer (kaldet Regnudvalget), ligesom principperne er blevet fremlagt på faglige temadage arrangeret af Spildevandskomiteens udvalg for Erfaringsudveksling i Vandmiljøteknikken (EVA). Et udkast til skriftet blev forelagt og principgodkendt på Spildevandskomiteens plenarmøde den 24. april 2014, og efterfølgende er en tilrettet version af skriftet forelagt og godkendt af Regnudvalget og Spildevandskomiteens forretningsudvalg.

Birgit Paludan

Civilingeniør

Formand for Spildevandskomiteens
udvalg vedr. regnafledning fra byer

Carsten Rosted Petersen

Civilingeniør

Formand for Spildevandskomiteen

1 Indledning

1.1 Baggrund

Spildevandskomiteen udgav det første skrift om regn til dimensionering af afløbssystemer i starten af 1950'erne. Af afgørende betydning for den nutidige praktisk har især været Skrift 16 (Spildevandskomiteen 1974), hvori Landsregnrækken præsenteres, og Skrift 26 (Spildevandskomiteen 1999), som på baggrund af data fra Spildevandskomiteens regnmålersystem (SVK) definerer en regional model for ekstremregn over Danmark. Sidstnævnte blev opdateret i 2006 i Skrift 28 (Spildevandskomiteen 2006). Endelig blev Skrift 29 (Spildevandskomiteen 2008) vedrørende klimaændrings forventede påvirkning af ekstremregn udgivet i 2008. Nærværende skrift opsummerer en ny bearbejdning af den opdaterede viden omkring nutidens og fremtidens ekstremregn, der fremover bør benyttes ved dimensionering af afløbssystemer. Skriftet tjener dermed som en faglig opdatering af Skrift 26, 27, 28 og 29.

I den regionale model i Skrift 28 bestemmes dimensionsgivende regn intensiteter for en vilkårlig lokalitet ud fra to variable: Årsmiddelnedbøren og en region givet ved placering øst eller vest for Storebælt. I skrift 29 anbefales klimafaktorer som følge af menneskeskabte klimaændringer på 1,2, 1,3 og 1,4 for gentagelsesperioder på henholdsvis 2-, 10- og 100 år over en planlægningsperiode på 100 år.

I de efterfølgende år er både interessen for, samt vores viden om, menneskeskabte klimaændringer og deres effekt på ekstremregn øget. Antallet og kvaliteten af simuleringer med klimamodeller er steget markant. Herudover er offentlighedens fokus i stigende grad blevet rettet mod de potentielle konsekvenser af menneskeskabte klimaændringer. Flere danske storbyer har gennem det sidste årti oplevet omfattende oversvømmelser grundet ekstremregn, og to danske studier har påvist en signifikant stigning i hhv. antallet af observerede ekstreme hændelser og de dimensionsgivende intensiteter (Gregersen *et al.* 2013; Madsen *et al.* 2009).

1.2 Formål

Det overordnede formål er at opdatere de gældende danske anbefalinger vedrørende analyse og dimensionering af afløbssystemer på basis af den nyeste viden om indsamlede ekstreme nedbørsdata samt om effekten af klimaforandringer på ekstremnedbør. Dette udmønter sig i følgende delmål:

1) Den nuværende ændring i de dimensionsgivende intensiteter skal evalueres og perspektiveres. Herudfra skal dimensionsgivende intensiteter, der repræsenterer nutidens klima, fastlægges på basis af målinger fra SVK systemet fra 1979-2012. For at vurdere om denne periode med rimelighed kan betragtes som ”nutidens klima” sammenstilles måleperioden med en analyse af lange historiske regnserier. Alle anbefalinger vedrørende fremtidens ekstremregn bygger på denne basis.

2) Nye klimafaktorer skal udregnes ud fra de nyeste klimamodelkørsler og nedskaleringsmetoder. Usikkerheden omkring fremtidens klima skal kommunikeres via to sæt klimafaktorer, som repræsenterer henholdsvis et standard- og et højt klimascenarie. Sidstnævnte bør benyttes i forbindelse med beredskabsplanlægning og worst-case simuleringer, mens standard klimafaktorerne er dem, der som udgangspunkt benyttes ved beregninger af overholdelse af givne funktionskrav.

1.3 Tilgængelige data for Danmark

Et ganske omfattende datamateriale er bearbejdet i det projektarbejde, der ligger bag nærværende skrift. Datamateriale består af: 83 stationer med i alt 1881 stationsår fra SVK netværket, fem lange historiske serier med døgnnedbør fra DMIs manuelle Hellman målere (Cappelen 2013; Lundholm 2011), data fra DMIs klimagrid (Scharling 2012), 15 klimasimuleringer fra det europæiske ENSEMBLES projekt (van der Linden og Mitchell 2009) samt fire klimasimuleringer, der hver især repræsenterer en alternativ udvikling i emission af drivhusgasser. Hvert datasæt beskrives ganske kort nedenfor, for yderligere information refereres til Gregersen *et al.* (2014) og referencelisten deri.

SVK netværket består af højtopløselige vippekarsmålere, der giver en dataopløsning på 1 min og 0,2 mm. Netværket drives af Spildevandskomiteen i samarbejde med DMI. Tætheden af målere varierer kraftigt over Danmark, hvor de større byer for nuværende stadig er overrepræsenteret i forhold til landområderne. De fem lange historiske serier med akkumuleret døgnnedbør dækker perioden fra 1874 til 2010 og er placeret i Vestervig, i Nordby på Fanø, i Tranebjerg på Samsø, i Botanisk Have i København samt på Hammer Odde på Bornholm. Den manuelle registrering af døgnnedbør finder sted kl 8.00 hver morgen, hvor nedbørsmængden aflæses med en præcision på 0,1 mm.

DMIs klimagrid er et kommercielt produkt fra DMI, der frit kan anvendes til forskningsmæssigt brug. Danmark er inddelt i et net af 609 celler med en størrelse på 10x10 km² og for hver af disse celler foreligger en serie af modelleret gennemsnitlig døgnnedbør for perioden 1989-2010. Hver enkel serie er estimeret ud fra DMI's landsdækkende netværk af døgnmålere ud fra et

vægtningsprincip baseret på den inverse afstand til hver enkelt celledens centerpunkt. Yderligere beskrivelse af data findes i Scharling (2012).

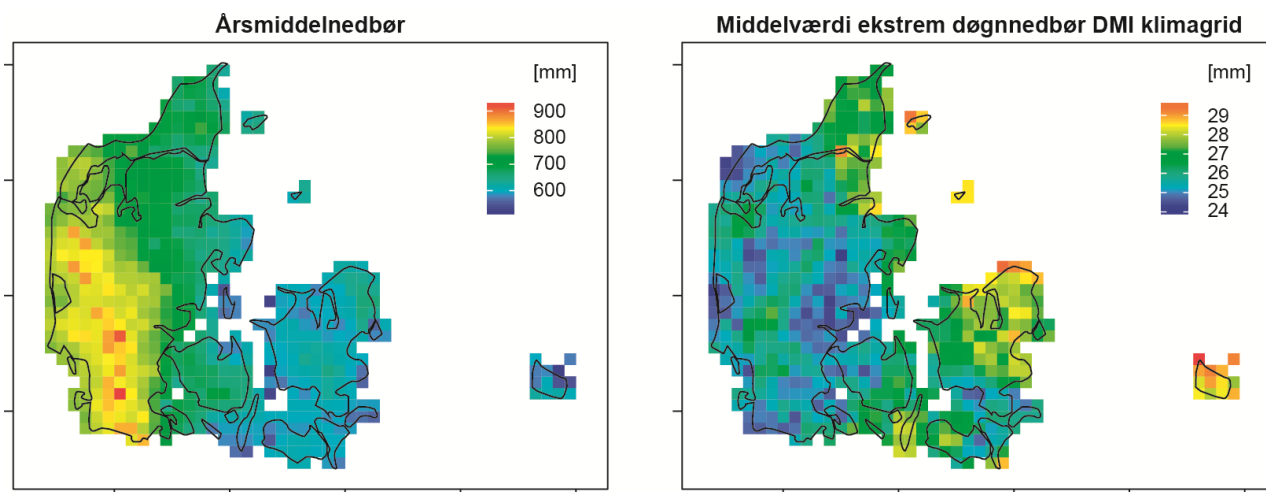
Klimasimuleringer fra ENSEMBLES databasen er genereret som en del af et koordineret samarbejde mellem de førende meteorologiske forskningsinstitutioner i Europa (van der Linden og Mitchell 2009). Formålet er at kunne adressere usikkerheden på projektionerne for fremtidens klima givet af kombinationen mellem forskellige globale og regionale klimamodeller. Alle simuleringerne har en opløsning på 25x25 km² og dækker perioden 1950-2100. Da alle ENSEMBLES modellerne er drevet af det samme fremtidige emissionsscenario (A1B), giver simuleringerne ikke et billede af scenariusikkerheden, hvilket i høj grad leder til en undervurdering af den øvre grænse for usikkerheden, da A1B er et relativt optimistisk emissionsscenario.

For Danmark findes der aktuelt to sæt supplerende klimasimuleringer drevet af høje emissionsscenarier. Ved også at analysere disse klimasimuleringer opnås en langt bedre forståelse for omfanget af scenariusikkerheden i forhold til klimafaktorer for dimensionsgivende regnintensiteter.

2 Dimensionsgivende intensiteter for nutidens klima – opdateret regional model for ekstremregn

Dette afsnit bygger på data fra SVK regnmålersystemet 1979-2012. Alle SVK regnserier med mere end 10 års observationer er medtaget, hvilket i alt giver data fra 83 stationer. I afsnittet gennemgås, hvordan den nuværende model for regional variation af ekstremregn udgivet i Skrift 28 er blevet opdateret, samt den resulterende ændring i de dimensionsgivende intensiteter.

Analysen genfandt den lineære sammenhæng mellem den årlige middelnedbør (Frich *et al.* 1997) og antallet af ekstreme hændelser, som blev benyttet både i Skrift 26 og 28. Til gengæld er regionsopdelingen i forhold til områder med samme middelværdi af ekstremregnen nu blevet erstattet af en lineær regression ud fra middelværdien af ekstrem døgnedbør i DMIs landsdækkende klimagrid (Scharling 2012). Dette har vist sig at beskrive den regionale variation over Danmark langt bedre. Den regionale variation af de to forklarende variable ses i Figur 1.

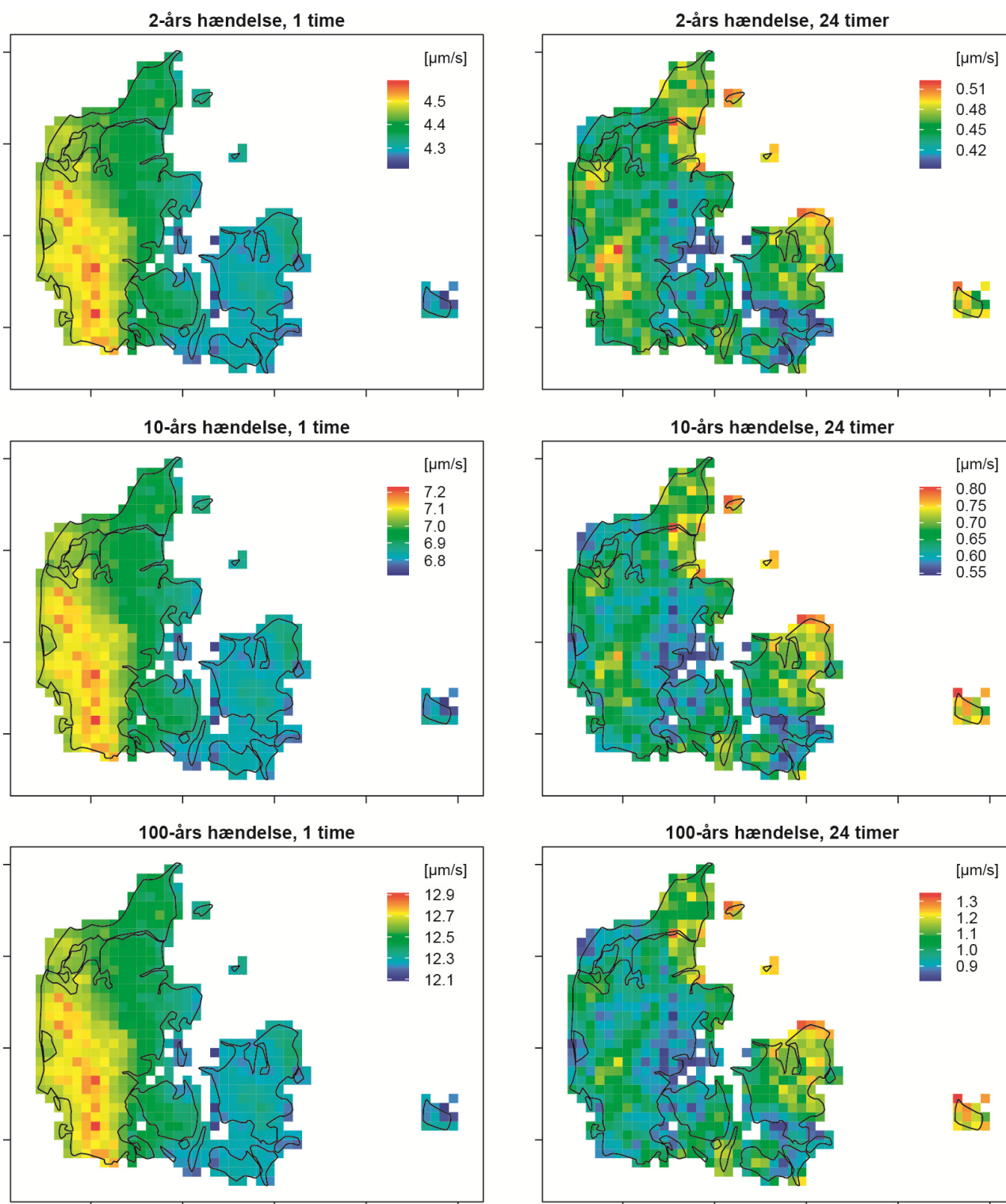


Figur 1 De to forklarende variable i den opdaterede regionale model: Årlig middelnedbør (venstre) samt middelværdi af ekstrem døgnedbør i DMIs klimagrid (højre).

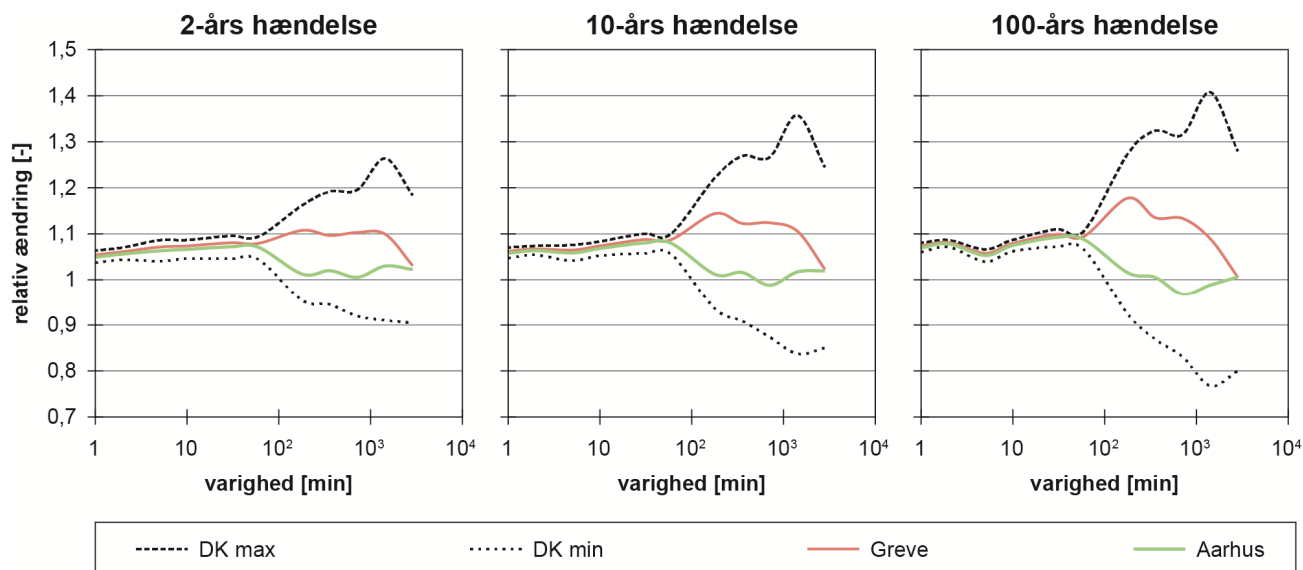
Sammenhængen mellem den årlige middelnedbør og antallet af ekstreme hændelser er gældende for alle varigheder, mens sammenhængen mellem middelværdi af ekstremregnen og middelværdi af ekstrem døgnnedbør i klimagrid kun er gældende for varigheder på 3 timer og derover. Dette forhold ses tydeligt af Figur 2 hvor den landsdækkende variation af den årlige middelnedbør går igen i de estimerede designintensiteter for én times varighed. Den regionale variation af en 2- og 10-års hændelse med 24 timers varighed ses at være påvirket af variationen i begge de to forklarende variable, mens den regionale variation af en 100-års hændelse med 24 timers varighed primært er domineret af variationen af middelværdien af ekstrem døgnnedbør i klimagrid.

Samlet set indgår der altså to variable i den opdaterede regionale model for ekstremregn; den årlige middelnedbør og en variabel for ekstremregn for hver lokalitet. Da begge disse variable er entydigt definerede ud fra lokalitet, kan der konstrueres et regneark, hvor der blot opgives et koordinatsæt. Herudfra beregnes IDF kurver og CDS dimensioneringsregn for den pågældende lokalitet. Den årlige middelnedbør er defineret ud fra perioden 1961-1990 (Frich *et al.* 1997), men denne skal ikke længere kendes af brugeren, da værdierne af årsmiddelnedbøren er indarbejdet i regnearket.

Sammenlignet med Skrift 28 har den nye regionale model gennemsnitligt set medført en stigning i de dimensionsgivende intensiteter over Danmark. Der er dog geografiske variationer samt variationer med varigheden og gentagelsesperioden. Figur 3 viser den relative ændring mellem den nye model og Skrift 28. Det ses, at den relative ændring er større end 1 for hele Danmark for varigheder under 3 timer. For længere varigheder ses derimod både stigninger og fald, alt efter hvor i Danmark man befinder sig. Dette skyldes til dels den nye regionalisering, som for visse områder er markant anderledes end den skillelinje gennem Storebælt, som blev benyttet i Skrift 28. Vendsyssel har overordnet set skiftet fra en region med relativt lav middelværdi af ekstremregn til et område med relativ høj middelværdi af ekstremregn, hvorimod det modsatte gør sig gældende for det sydlige Sjælland. For andre områder kan en evt. ændring i dimensionsgivende intensiteter udelukkende skyldes ændringen i ekstrem nedbør givet ved det nye opdaterede datasæt, idet der overordnet set er en stigning i ekstremregnen. Denne er af samme størrelsesorden som ved opdateringen fra Skrift 26 til Skrift 28.



Figur 2 Anvendelse af den opdaterede regionale model. Estimeret 2-års hændelse (øverste række), 10-års hændelse (midterste række) og 100-års hændelse (nederste række) for varigheder af hhv. 1 time (venstre) og 24 timer (højre).



Figur 3 *Relativ ændring mellem den nye regionale model og Skrift 28 for en 2, 10 og 100 års hændelse. De sorte stiplede kurver angiver variationen over Danmark givet ud fra Klimagrid. Den røde og grønne kurve viser ændringen for hhv. Greve og Aarhus. Den største relative ændring er sket for områder i det nordøstlige Jylland og Sydfyn inklusive de mindre omkringliggende øer.*

3 Historisk variation af ekstremregn

Dette afsnit bygger på data fra Spildevandskomiteens regnmålersystem (SVK) 1979-2012, fem 137 år lange historiske regnserier med daglig nedbør fra DMI i perioden 1874-2010, samt en historisk gennemgang af de forskellige anbefalinger vedrørende ekstremregn fra Spildevandskomiteens skrifter siden 1950.

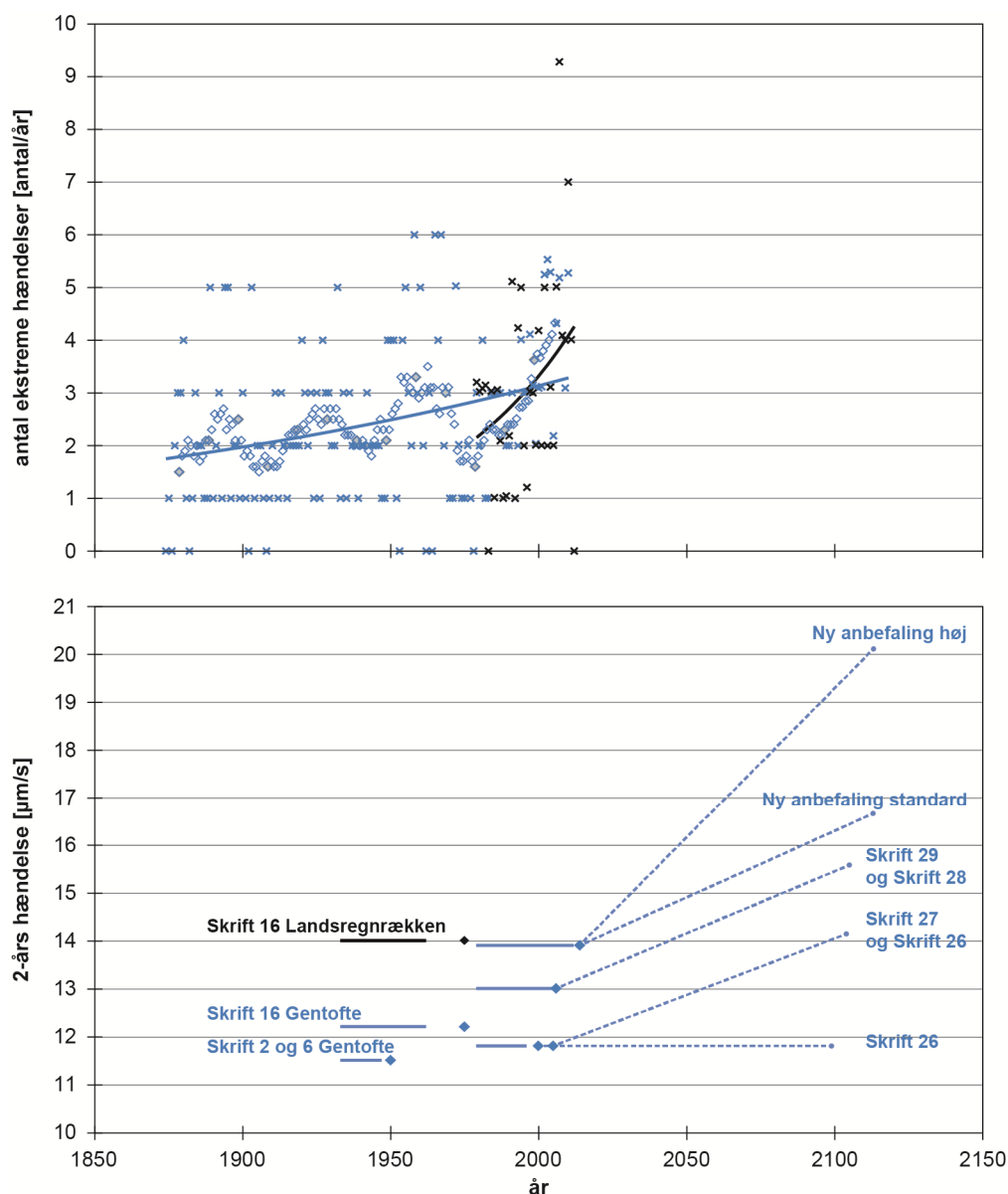
Analyser af de opdaterede data fra SVK regnmålersystemet viser, at antallet af ekstreme hændelser er steget med ca. 2 % årligt, siden systemet blev etableret i 1979, altså gennem de sidste 34 år. Supplerende analyser af fem 137 år lange serier med daglig nedbør viser også en stigning i antallet af ekstreme hændelser. Denne stigning er dog kun på ca. 0,5 % årligt. Endvidere ses i alle serierne en stor naturlig variation fra år til år, men også en naturlig forekomst af perioder med relative få/mange ekstreme hændelser. Overlejet den naturlige variation i tid og sted ses en overordnet stigning gennem de 137 år, der er nogenlunde ensartet over Danmark. For København viser det gennemsnitlige antal ekstreme over 10 år et historisk lavt niveau omkring 1980 og et historisk højt niveau omkring 2010, se Figur 4 øverst. Det er påvist, at denne variation til dels styres af forskelle i lufttryk over Nordatlanten gennem en påvirkning af de dominerende luftstrømninger i atmosfæren (Gregersen *et al.* 2014). Dermed kan forskellen i svingninger over Danmark muligvis tilskrives den mere direkte påvirkning fra Nordsøen i den vestlige del af Danmark, mens den østlige del af landet er påvirket af det europæiske fastlandsklima. Data fra Belgien viser, at denne form for svingninger på glidende gennemsnit er konsistente for varigheder mellem 10 min og 1 dag (Gregersen *et al.* 2014). Dette bekræftes af variationen i den historiske dimensionsgivende 2-års hændelse for en varighed på 10 minutter for København, se Figur 4 nederst, da denne i rimelig grad følger variationen i gennemsnitlige antal daglige ekstreme over 10 år. Denne variation har i mindre grad være observeret i praksis. I Figur 4 nederst indgår endvidere den fremadrettede anbefaling for en planlægningshorisont på 100 år defineret af klimafaktoren. Dette diskuteres i Afsnit 4.

Det skal fremhæves, at antal ekstreme hændelser overordnet set varierer markant fra år, se Figur 4 øverst, og at identifikation af den naturlige svingning derfor er baseret på et glidende gennemsnit (Gregersen *et al.* 2014). Da glidende gennemsnit introducerer en kunstig autokorrelation i tidserierne, er det svært at påvise statistisk signifikans af de naturlige svingninger. Ligeledes er der ingen evidens for, at mønsteret gentages frem i tiden med samme periode eller amplitude. Der er derfor ikke gjort forsøg på at fremskrive den cykliske variation til brug for dimensionering af afløbssystemer.

Det kan for nærværende ikke konkluderes, om den generelle stigning i antallet af ekstreme fra 1979 alene skyldes den naturlige variation. Visuelt set synes den seneste svigning for København, se Figur 4 øverst, både højere og mere vedholdende, hvilket måske kan tolkes som en begyndende effekt af menneskabte klimaforandringer. Der er dog ikke nok datamateriale til at kunne eftervise denne hypotese.

Analysen af SVK data tyder også på, at størrelsen af ekstremregnen stiger. Denne stigning varierer med regnens varighed. Der ses også en naturlig variation af størrelsen af ekstremregnen i de lange serier af døgnmålinger, men ingen overordnet stigning. Der kan for nærværende ikke etableres et direkte sammenhæng mellem den naturlige variation i de lange serier og den observerede stigning i SVK data. Dette skyldes muligvis, at ændringen i middelværdien af ekstremregnen ikke kan skaleres mellem 10 min og 1 dag, og dermed ikke kan identificeres i serierne af døgnmålinger.

Den regionale model er også testet ved at lave analyser med forskellige delmængder af data for at undersøge robustheden af modellen overfor f.eks. forskellen i måleperiode for SVK serierne (Gregersen *et al.* 2014). Samlet set giver modellen det mest realistiske bud på de dimensionsgivende intensiteter i nutidens klima, ikke mindst ved inddragelse af informationer omkring den naturlige variation i ekstremregn fra 1874 til i dag.



Figur 4

Øverst: Historisk stigning og naturlig variation i antal ekstreme hændelser af døgnedbør siden 1874 for Hellmann måleren i København (blå), sammenlignet med ekstrem døgnedbør for SVK måleren 30222 i Søborg (sort). Krydserne angiver det årlige antal ekstreme, fyldte cirkler angiver de 13 uafhængige 10 års gennemsnit, tomme cirkler angiver et glidende 10 års gennemsnit. Linierne angiver modellerede gennemsnitlige antal hændelser som funktion af tid for de to serier.

Nederst: Historiske, nutidige og fremskrevne værdier af en 2-års hændelse for en varighed på 10 minutter, baseret på Spildevandskomiteens anbefalede dimensionsgivende nedbørsintensiteter og de anbefalede klimafaktorer (se Afsnit 4). Cirkler angiver skriftets publikationsår. Linierne angiver måleperioden bag den anbefalede dimensionsgivende nedbørsintensitet. De stiplede linjer angiver den fremadrettede anbefaling for en planlægningshorisont på 100 år.

4 Fremtidens regn – opdaterede klimafaktorer

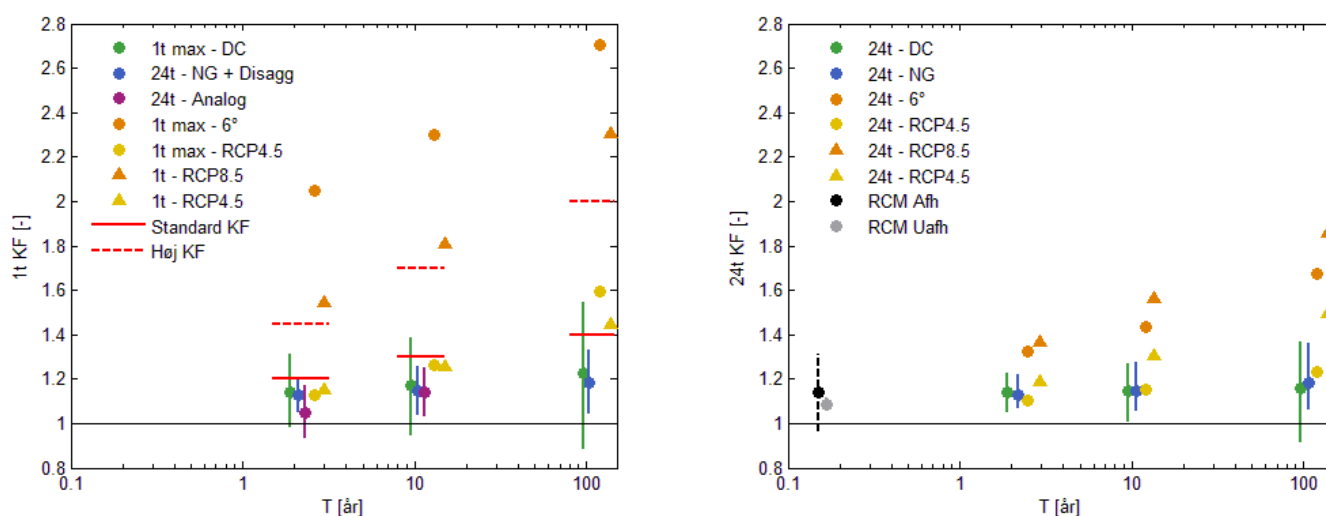
Til estimering af de opdaterede klimafaktorer benyttes 13 klimamodelkørsler (1950-2100) fra det europæiske projekt ENSEMBLES (van der Linden og Mitchell 2009), hvor ni meteorologiske forskningsinstitutter i Europa har koordineret deres individuelle modelkørsler for at forbedre kvantificeringen af usikkerheden på projektionerne af fremtidens klima. Regnserierne genereret af klimamodellerne har ikke en opløsning i tid og sted, der er høj nok til direkte brug i afløbsmodeller, hvorfor nedskalering er nødvendig. I dette projekt benyttes tre forskellige nedskaleringsmetoder: En metode baseret på den direkte relative ændring i de dimensionsgivende intensiteter fra klimamodellerne (også kaldet 'delta-change' eller DC), en metode baseret på 'analoge klimaområder' samt en metode baseret på en nedbørsgenerator (NG) kombineret med statistisk disaggregering (Gregersen *et al.* 2014). Disse metoder er principielt de samme, som blev anvendt i Skrift 29, men altså på et større og bedre datamateriale.

ENSEMBLES projektet er baseret A1B scenariet (IPCC 2000), som prædikerer en meget hurtig reduktion i den fremtidige udledning af drivhusgasser set i forhold til vores nuværende udledningsniveau (Peters *et al.* 2013). Derfor inkluderes resultaterne fra to andre sæt modelkørsler i estimeringen af de opdaterede klimafaktorer, begge baseret på mere pessimistiske prognoser eller såkaldte 'high-end' scenarier. Det ene baseres på de nye "Representative-Concentration-Pathways" (RCP) scenarier (van Vuuren *et al.* 2011), som fokuserer på den resulterende effekt af drivhusgasudledningen (udtrykt som ændret energibalance i den nedre atmosfære med enheden W/m^2), frem for scenarier for den socio-økonomiske udvikling af verden (sådan som A1B). Klimaforcingen er på $8,5 W/m^2$ i det mest ekstreme af RCP scenarierne (RCP8.5), hvorimod en forcing på $4,5 W/m^2$ ses som et middel scenarie (RCP4.5). Det andet high-end scenarie er baseret på en global temperaturstigning på $6^\circ C$ i 2100 (Christensen *et al.* under review).

RCP4.5 og RCP8.5 er benyttet af Sørup *et al.* (under udarbejdelse), hvor klimafaktorer er udregnet på basis af en nedbørsgenerator drevet af en klimamodel med en relativ høj rumlig opløsning. $6^\circ C$ scenariet er benyttet af Arnbjerg-Nielsen *et al.* (under review) sammen med RCP4.5 under anvendelse af to af de nedskaleringsmetoder, som også benyttes i dette projekt.

Kombinationen af forskellige nedskaleringsmetoder, forskellige modelkørsler og forskellige scenarier giver en vifte af mulige klimafaktorer, der skal sammenholdes. De udregnede faktorer falder i to kategorier: Klimafaktorer for daglig ekstrem nedbør og klimafaktorer for varigheder under en dag. I ENSEMBLES projektet er den maximale intensitet af timeregn registeret for hver

døgn i simuleringen (1t max) sammen med den daglige nedbør (24t). Dette giver mulighed for at udregne klimafaktorer for ekstremregn med én og 24 timers varighed, men ekstremregn med varigheder under én time endsiges mellem 1 og 24 timer kan ikke genereres herudfra. To af klimamodellerne har tidsserier med en tidslig opløsning på én time, men data fra kun to modeller giver et utilstrækkeligt estimat af ensembleusikkerheden, hvorfor disse tidsserier ikke anvendes i bearbejdningen.



Figur 5

De estimerede klimafaktorer (KF) for 1 time (venstre) og 24 timer (højre) for en fremskrivningshorisont på 100 år. Punkterne angiver den gennemsnitlige beregnede KF for hver metode, de vertikale linjer angiver et 68 % konfidensinterval for de metoder, hvor det er muligt at angive et konfidensinterval. De røde horisontale linjer angiver de i rapporten anbefalede standard klimafaktorer. De stiplede røde horisontale linjer angiver de i rapporten anbefalede høje klimafaktorer. DC, NG, NG+Disagg og Analog angiver de forskellige nedskaleringsmetoder, hvor timeangivelsen foran navnet angiver den tidslige opløsning af de anvendte klimamodel data. Resultaterne fra de to high-end scenarier er angivet med orange (6° givet ved en cirkel, RCP8.5 givet ved en trekant), det tilhørende gule symbol angiver den tilsvarende klimafaktor for middelscenariet RCP4.5. Effekten af en beregningsmæssig antagelse (omkring uafhængige klimamodeller og konstant modelfejl) ses ved sammenligning af grå og sort punkt med tilhørende konfidensintervaller (højre graf). Her repræsenterer grå antagelsen om uafhængige modeller, hvorimod sort tager både modelkorrelation og varierende modelfejl i regning (Sunyer et al. i review).

Figur 5 viser alle de estimerede klimafaktorer for Danmark. For de metoder, der benytter data fra ENSEMBLES projektet, er ensembleusikkerheden angivet som et 68 % konfidensinterval; dermed svarer den øvre værdi omtrent til middelværdi + én gange standardafvigelsen.

Ensembleusikkerheden repræsenterer variationen mellem de 13 forskellige modeller, samt variationen over Danmark, der i mange tilfælde er forskellig fra model til model (Gregersen et al. 2014). I figuren angiver betegnelserne DC, NG, NG+Disagg og Analog hvilken nedskaleringsmetode, der er anvendt. Resultaterne fra de to high-end scenarier er angivet som enkeltstående punkter. Disse stammer fra én klimamodelsimulering kombineret med én nedskaleringsmetode. Den resulterende klimafaktor er meget usikker i sig selv og bør derfor sammenholdes med forskellen mellem high-end scenariet og det tilsvarende middelscenarie.

Det ses af Figur 5 (venstre graf), at klimafaktorerne fra Skrift 29 ligger inden for usikkerhedsbåndet givet af simuleringerne fra ENSEMBLES kombineret med de forskellige nedskaleringsmetoder, men dog højere end gennemsnittet. Klimafaktorerne fra de to high-end scenarier ligger væsentligt højere end dem, der beregnes på baggrund af ENSEMBLES simuleringerne, og også væsentligt højere end anbefalingen fra Skrift 29. De to high-end scenarier er udført med samme modeller som RCP4.5 simuleringerne, hvilket tyder på, at klimafaktorerne i væsentlig grad afhænger af hvilket scenarium, der benyttes til at beregne klimafaktorerne.

Et studie af Sunyer *et al.* (accepteret), der analyserer klimafaktorer for døgnnedbør svarende til en gentagelsesperiode på ca. 0,2 år, konkluderer, at ensembleresultater bør korrigeres for: 1) underestimering af usikkerheden, da klimamodellerne ikke kan betragtes som uafhængige, og 2) en bias i middelværdien, da klimamodellernes fejl i den beregnede ekstremregn afhænger af værdien af den beregnede ekstremregn. For at understrege effekten af ovenstående er resultaterne fra Sunyer *et al.* (i review) inkluderet i Figur 5 for daglig nedbør ('RCM Uafh' antager uafhængighed og konstant modelfejl, mens 'RCM Afh' tager modelkorrelation og bias i regning). Alle klimafaktorer i nærværende rapport er estimeret under antagelse af uafhængige modeller og konstant modelfejl, hvilket giver en underestimering af klimafaktoren og den tilhørende usikkerhed (forskel mellem 'RCM Uafh' og 'RCM Afh' i Figur 4). Det vides for nuværende ikke, hvordan denne sammenhæng afhænger af gentagelsesperiode, men det må forventes, at de beregnede klimafaktorer fra ENSEMBLES er et nedre bud på klimaændringen. Desuden viser resultaterne fra de to high-end scenarier, at en betydelig højere klimafaktor ikke kan udelukkes.

Resultaterne indikerer, at klimafaktoren afhænger af varigheden, eftersom at estimaterne er højere for én time end for 24 timer, se Figur 5. Forskellen ses dog at være mest markant for high-end scenarierne, så for at forenkle den praktiske brug betragtes klimafaktorer som værende uafhængige af varigheden. Den endelige anbefaling af klimafaktorer til brug for dimensionering og analyse af

regnafstrømning i byer er givet i Tabel 1. Der anbefales to sæt klimafaktorer: (1) Standard klimafaktor der svarer til et bedste bud på den forventede klimaeffekt (2) Høj klimafaktor der svarer til et bedste bud på middelværdien plus én gange standardafvigelsen på klimafaktoren. For dimensionering og analyse af maksimal afstrømning fra afløbssystemer anbefales generelt at anvende klimafaktorer svarende til 1 time, også for systemer, der har højere og lavere koncentrationstid.

Tabel 1 Anbefalede klimafaktorer baseret på tre nedskaleringsmetoder, 17 klimamodel kørsler og fem emissions scenarier

	100 års horisont	
	Standard	Høj
2-års hændelse	1,2	1,45
10-års hændelse	1,3	1,7
100-års hændelse	1,4	2

I nogle sammenhænge kan det være nødvendigt at kende klimafaktorer for en kortere planlægningsperiode. I Skrift 29 blev det anbefalet at nedgradere den anbefalede klimafaktor lineært med planlægningsperioden. En anden mulig metode er at benytte klimamodelldata direkte, med samme metoder som beskrevet ovenfor, blot for en kortere planlægningsperiode. Sidstnævnte er blevet testet i nærværende projekt med den konklusion, at antagelsen om en lineær sammenhæng mellem planlægningsperiodens længde og klimafaktoren er fornuftig (Gregersen *et al.* 2014). Baseret på Tabel 1 er faktorer for en planlægningsperiode på 50 år givet i Tabel 2.

Tabel 2 Anbefalede klimafaktorer for planlægningsperioder på 50 år udregnet ved lineær nedgradering af estimaterne i Tabel 1.

	50 års horisont	
	Standard	Høj
2-års hændelse	1,10	1,23
10-års hændelse	1,15	1,35
100-års hændelse	1,20	1,50

Når der kommer mere viden om naturlige og menneskeskabte svingninger, og hvordan de to påvirker hinanden, kan det blive nødvendigt at justere klimafaktorerne, så de indeholder den samlede forventede effekt af ændringer af klimaet. Den viden er ikke tilvejebragt endnu, og de anbefalede klimafaktorer er derfor baseret udelukkende på forventninger til ændringer i klimaet baseret på menneskers udledning af drivhusgasser. For at kunne inddrage den naturlige variation i dimensionering og analyse af afløbssystemer bør man som minimum fastlægge årsagerne til variationen.

5 Sikkerheds- og korrektionsfaktorer

I Skrift 27 anbefales, at den usikkerhed, der både ligger i de anvendte beregningsmetoder og de anvendte datasæt, indbygges i den dimensionsgivende intensitet ved anvendelse af et sikkerhedstillæg. Dette er blevet yderligere konkretiseret i Skift 28 og 29, der introducere hhv. frekvensfaktoren og klimafaktoren. Efter at alle tre skrifter har været implementeret i praksis i en længere årrække, er det nu muligt i højere grad at sammensætte en serie af konkrete sikkerheds- og korrektionsfaktorer. Disse medtager som helhed usikkerheden på den dimensionsgivende intensitet, der i praksis giver opstuvning på terræn (q_{design}) samt scenarieusikkerheden på fremtidens klima og byudvikling. Faktorerne er som følger:

- $f_{regnserie}$: Korrektionsfaktor der anvendes ved brug af historiske regnserier. Faktoren skal sikre, at den tilfældige variation i ekstremeerne, der er i historiske serier, korrigeres, så den historiske regnserie giver samme resultat som den regionale model.
- f_{klima} : Klimafaktor som angivet i nærværende skrift.
- $f_{fortætning}$: Sikkerhedsfaktor for oplandets potentielle stigning i befæstelsesgrad som konsekvens af fremtidig byudvikling. Der henvises til Skrift 27 for en nærmere beskrivelse og for anbefalede værdier.
- f_{model} : Sikkerhedsfaktorer for usikkerheden givet af de hydrauliske og hydrologiske modeller, som beskriver afløbssystemet. Der henvises til Skrift 27 for en nærmere beskrivelse og for anbefalede værdier.

Når udgangspunktet for beregningen er en dimensionsgivende afstrømning fra en lokal regnserie (q_{lokal}), benyttes dermed følgende samlede korrektion:

$$q_{design} = f_{regnserie} \cdot f_{klima} \cdot f_{fortætning} \cdot f_{model} \cdot q_{lokal}$$

Hvor q_{lokal} er den dimensionsgivende afstrømning beregnet som intensitet gange areal, korrigeret for hydrologisk reduktionsfaktor samt befæstet areal. Givet at den opdaterede regionale model benyttes

til beregningen af q_{design} , sættes $f_{regnserie}$ til 1. Ved analyser af meget ekstreme hændelser bør endvidere korrigeres for afstrømning fra arealer, der ikke er befæstede.

6 Praktisk betydning af de nye anbefalinger

Den praktiske betydning af de nye anbefalinger er illustreret i Tabel 3 og 4 for henholdsvis Greve og Aarhus. Det skal bemærkes, at der er andre områder, der er væsentligt mere påvirket af ændringer i den regionale model, jævnfør Figur 3. Ud fra simuleringer med afløbsmodeller i Aarhus og Greve er den skadevoldende effekt af de høje klimafaktorer bestemt, se Tabel 5 og 6. Simuleringer med den nye regionale model og standard klimafaktoren er ikke udført. Disse forventes at være meget lig en kombination af Skrift 28 og Skrift 29, da ændringen i de dimensionsgivende intensiteter ligger inden for usikkerheden på beregningsmetoden.

Tabel 3: Den praktiske betydning af de nye anbefalinger for Greve. Årsmiddelnedbør 595 mm, UTM 6165836N, 704207E. T-års hændelser for en varighed på 10 min. Enhed $\mu\text{m/s}$. Den relative ændring ift. skrift 28 er angivet i parentes.

	2-års hændelse	10-års hændelse	100-års hændelse
Skrift 28	12,74	19,51	31,69
Skrift 28+29	15,29 (20%)	25,37 (30%)	44,36 (40%)
Ny regional model	13,69 (7%)	20,95 (7%)	34,17 (7%)
Ny regional model + standard klimafaktor	16,43 (29%)	27,24 (40%)	47,84 (51%)
Ny regional model + høj klimafaktor	19,85 (56%)	35,62 (83%)	68,34 (116%)

De to studieområder er som udgangspunkt ret forskellige. Aarhus er en stor by med store omkringliggende oplande og et relativt kuperet terræn der skråner ned imod Aarhus midtby, mens Greve er en mindre by uden de store niveauforskelle på terræn. For at kunne sammenligne de estimerede oversvømmelsesrisici ved anvendelse af de nye anbefalinger beregnes hvor stor en procentdel del af byzonen, der oversvømmes i hhv. Greve og den centrale del af Aarhus. I den forbindelse defineres en oversvømmelse ved mere end 10 cm vand på terræn. Ikke alle kombinationer af Skrifter og gentagelsesperioder fra i Tabel 3 og 4 er testet.

Tabel 4: Den praktiske betydning af de nye anbefalinger for Aarhus. Årsmiddelnedbør 664 mm, UTM 6222724N, 576098E. T-års hændelser for en varighed på 10 min. Enhed $\mu\text{m/s}$. Den relative ændring ift. skrift 28 er angivet i parentes.

	2-års hændelse	10-års hændelse	100-års hændelse
Skrift 28	13,10	19,95	32,25
Skrift 28+29	15,72 (20%)	25,93 (30%)	45,16 (40%)
Ny regional model	13,97 (7%)	21,29 (7%)	34,62 (7%)
Ny regional model + standard klimafaktor	16,76 (28%)	27,68 (39%)	48,47 (50%)
Ny regional model + høj klimafaktor	20,26 (55%)	36,19 (81%)	69,24 (115%)

Tabel 5: Oversvømmet byzoneareal for Greve i %. Det totale byzoneareal er på 1752,4 ha. Den relative ændring ved anvendelsen af den nye regionale model i kombination med den høje klimafaktor set i forhold til en kombination af Skrift 28 og Skrift 29 er angivet i parentes.

	10-års hændelse	100- års hændelse
Skrift 28+29	2,6%	6,5%
Ny regional model + høj klimafaktor	4,4% (+68%)	11,2% (+73%)

Tabel 6: Oversvømmet byzoneareal for det centrale Aarhus i %. Det totale byzoneareal er på 2000 ha. Den relative ændring ved anvendelsen af den nye regionale model i kombination med den høje klimafaktor set i forhold til en kombination af Skrift 28 og Skrift 29 er angivet i parentes.

	10-års hændelse	100- års hændelse
Skrift 28+29	0,9%	5,5%
Ny regional model + høj klimafaktor	2,2% (+138%)	11,6% (+110%)

7 Sammenfatning

Der er opstillet en ny regional model for estimering af ekstremregn. Denne er baseret på observationer fra perioden 1979-2012 og giver en bedre og mere præcis beskrivelse af lokale og regionale variationer end tidligere bearbejdninger af SVK-data. Det er påvist, at både antallet og intensiteten af ekstremregn i Danmark er steget markant i måleperioden. Til sammenligning viser bearbejdningen af lange historiske serier fra perioden 1874-2010 ingen overordnet stigning i intensiteten af ekstrem døgnnedbør og kun en moderat stigning i antallet af hændelser. Der ses dog en markant øget forekomst af perioder med relative få/mange ekstreme hændelser. Denne naturlige variation har været i en opadgående fase i de sidste årtier i store dele af landet.

På baggrund af såvel SVK-data som historiske data fra de sidste 130 år anses den regionale model for at give et retvisende billede af, hvor kraftige "nutidens" ekstremhændelser er. Den kraftige stigning i ekstremregn de seneste 30 år skal formentlig ikke ses alene som udtryk for effekten af menneskabte klimaændringer, idet stigningen delvist er i overensstemmelse med den naturlige variation, der er set over de sidste 130 år. Den naturlige variation medfører, at de historiske designintensiteter varierer markant, alt efter hvilken måleperiode man benytter data fra, men vores viden om årsagen bag variation er for nuværende ikke tilstrækkelig til at inkludere denne i dimensionering og analyse af afløbssystemer. Benyttes historiske serier til dimensionering er det derfor vigtigt at korrigere for, om målingerne kommer fra en periode med forholdsvis få eller mange ekstremer. Desuden vil de lokale serier afspejle en naturlig variabilitet afhængig af observationsperioden. Lokale serier bør derfor sammenlignes med den nye regionale model, og korrigeres, så den lokale series effekter (fuldtløbende rør, overløb, mv.) ligger tæt på de effekter, som gælder for den regionale model. Det er teoretisk muligt at lave syntetiske regnserier, der repræsenterer fremtidens klima. Det forventes, at sådanne serier vil blive udviklet med henblik på at blive anvendt hvor dimensioneringsregn ikke er tilstrækkeligt gode. Anvendelsen af sådanne serier skal ske efter principperne i Skrift 26.

Ved estimeringen af klimafaktorer er både usikkerheden indenfor de forskellige emissionsscenarier for drivhusgasser, de forskellige klimasimuleringer, de forskellige nedskaleringsmetoder, samt variationen over Danmark taget i regning. På denne basis er det bedste bud på klimafaktorer for en planlægningshorisont på 100 år: 1,2, 1,3 og 1,4 for gentagelsesperioder på henholdsvis 2, 10 og 100 år for Ved kortere planlægningshorisonter mindskes klimafaktorerne lineært. Der er endvidere skønnet et sæt høje klimafaktorer, der repræsenterer usikkerheden omkring fremtidens klima givet ved 84% fraktilen. Disse er 1,45, 1,7 og 2,0 for gentagelsesperioder på henholdsvis 2, 10 og 100 år.

Når der kommer mere viden om naturlige og menneskeskabte svingninger, og om hvordan de to påvirker hinanden, kan det blive nødvendigt at justere klimafaktorerne, så de indeholder den samlede forventede effekt af ændringer af klimaet, eller at introducere en selvstændig faktor der reflekterer den usikkerhed, som den naturlige variation introducerer.

8 Referencer

- Arnbjerg-Nielsen, K., Leonardsen, L. og Madsen, H. (under review). Identifying climate change adaptation options for pluvial flooding based on high-end emission scenarios, *Climate Research*
- Cappelen, J. (2013). "Denmark - DMI Historical Climate Data Collection 1768-2012." Technical report 13-02. Danish Meteorological Institute, Ministry of Climate and Energy. Copenhagen, Denmark.
- Christensen, O.B, Yang, S., Boberg, F., Fox Maule, C., Olsen, M., Drews, M., Sørup, H.J.D. and Christensen, J.H (under review). Europe in a 6 degrees warmer climate, *Climate Research*
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H. og Jensen, J.J. (1997). "Observed precipitation in Denmark, 1961–1990." Technical report 97-8. Danish Meteorological Institute, Ministry of Transport. Copenhagen, Denmark.
- Gregersen, I. B., Sunyer, M., Madsen, H., Funder, S., Luchner, J., Rosbjerg, D. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2014). "Past, present and future variations of extreme precipitation in Denmark". Technical report. DTU Environment, Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark.
- Gregersen, I.B., Sørup, H.J.D., Madsen, H., Rosbjerg, D., Mikkelsen, P. S. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Assessing future climatic changes of precipitation extremes at small spatio-temporal scales. *Climatic Change*. 118(3-4), 783-797.
- IPCC (2000). "Special Report Emission Scenarios." Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Lundholm, S.C. (2011). "Ekstremværdianalyse af nedbør i Danmark 1874-2010." Technical report 11-01. Danish Meteorological Institute, Ministry of Climate and Energy. Copenhagen, Denmark.
- Madsen, H., Arnbjerg-Nielsen, K. og Mikkelsen, P.S. (2009). Update of regional intensity-duration-frequency curves in Denmark: Tendency towards increased storm intensities. *Atmospheric Research*. 92(3), 343-349.

- Peters, G.P., Andrew, R.B., Boden, T., Canadell, J.G., Ciais, P., Le Quéré, C., Marland, G., Raupach, M.R. og Wilson, C. (2013). The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature Climate Change*, 3, 4–6.
- van der Linden, P., Mitchell, J.F.B. (Eds) (2009). "ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project." Met Office Hadley Center. Exeter, UK.
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. og Rose, S.K. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. 109(1-2), 5-31.
- Scharling, M. (2012). "Climate Grid Denmark - Dataset of use in research and education - Daily and monthly values 1989-2010." Technical report 12-10. Danish Meteorological Institute, Ministry of Climate and Energy. Copenhagen, Denmark.
- Spildevandskomiteen (1950). "Bearbejdelse af diagrammer fra de af Stads- og Havneingeniørforeningen opstillede selvregistrerende regnmålere for årene 1933-47, skrift nr. 2", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/02Diagrammerfrastadsoghavneingeniørforeningen.pdf>
- Spildevandskomiteen (1953). "Bestemmelse af regnrækker, skrift nr. 6", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/06Bestemmelseafregnrækker.pdf>
- Spildevandskomiteen (1974). "Bestemmelse af regnrækker, skrift nr. 16", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/16Bestemmelseafregnrækker.pdf>
- Spildevandskomiteen (1999). "Regional variation af ekstremregn i Danmark, skrift nr. 26", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/26RegionalvariationafekstremregniDanmark.pdf>
- Spildevandskomiteen (2005). "Funktionspraksis for afløbssystemer under regn, Skrift 27", , Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/Skrift27Funktionspraksisforafl%C3%B8bssystemerunderregn.pdf>

- Spildevandskomiteen (2006). "Regional variation af ekstremregn i Danmark – ny bearbejdning 1979-2005, skrift nr. 28", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: <http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/SVKskriftnr28.pdf>
- Spildevandskomiteen (2008). "Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer, skrift nr. 29", Spildevandskomiteen, Ingeniørforeningen i Danmark – IDA. Tilgængelig online: http://ida.dk/sites/prod.ida.dk/files/SVK_Skrift29_final.pdf
- Sunyer M.A., Madsen H., Rosbjerg D. og Arnbjerg-Nielsen K. (accepteret). A Bayesian approach for uncertainty quantification of extreme precipitation projections including climate model interdependency and non-stationary bias. *Journal of Climate*.
- Sørup, H.J.D., Christensen, O.B., Arnbjerg-Nielsen, K. og Mikkelsen P.S. (under udarbejdelse) Downscaling future precipitation extremes to urban scales using a spatio-temporal Neyman-Scott model. *Climatic Change*.

Bilag A Organisatorisk ramme

Nærværende skrift er en sammenfatning af et udviklingsprojekt, der er udført af en arbejdsgruppe bestående af følgende personer:

Karsten Arnbjerg-Nielsen,	DTU Miljø
Ida Bülow Gregersen	DTU Miljø
Maria Sunyer,	DTU Miljø
Dan Rosbjerg,	DTU Miljø
Peter Steen Mikkelsen,	DTU Miljø
Henrik Madsen,	DHI
Jakob Luchner,	DHI
Simon Funder,	DHI
Birgit Paludan,	Greve-Solrød Forsyning
Andreas Bundsbæk Bøndergaard,	Greve-Solrød Forsyning
Anne Laustsen,	Aarhus Vand
Henrik Sandgård Andersen,	DHI
Jens Jørgen Linde,	Krüger

Udviklingsprojektet var finansieret af:

Vandsektorens Teknologiudviklingsfond
Det Strategiske Forskningsråd

Arbejdet har været fulgt og resultaterne fremlagt og godkendt af Spildevandskomiteens forretningsudvalg:

Carsten Rosted Petersen (formand),	Orbicon A/S
Bolette Jensen,	Naturstyrelsen

Arne Kristensen,	Nordvand A/S
Søren Liedke Thorndahl,	AAU, Institut for byggeri og anlæg
Kristian Friis,	DANVA
Ulrik Højbjerg,	EviDan A/S

Arbejdet har endvidere været fulgt og resultaterne fremlagt og godkendt af Spildevandskomiteens Regnudvalg:

Birgit Paludan (formand),	Greve-Solrød Forsyning
Dan Rosbjerg,	DTU Miljø
Peter Steen Mikkelsen,	DTU Miljø
Karsten Arnbjerg-Nielsen,	DTU Miljø
Jens Jørgen Linde,	Krüger
Torben Larsen,	AAU, Institut for byggeri og anlæg
Carsten Jakobsen,	Krüger
Gitte Godsk Dalgaard,	Furesø Egedal Forsyning
Ole Mark,	DHI
Søren Stenderup Jensen,	Plesner